

Research

# Efectos de los Cambios en el Perfil de la Composición Corporal sobre el VO<sub>2</sub> máx. y el Máximo Rendimiento de Trabajo en Atletas

Ramana Y Venkata<sup>1</sup>, Kumaru M Surya<sup>1</sup>, Rao S Sudhakar<sup>1</sup> y N. Balakrishna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physiology, Biophysics Division, National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research, Hyderabad, India.

## RESUMEN

Este estudio describe los cambios en el perfil de composición corporal y a su vez la relación con el máximo rendimiento de trabajo, a través de tres fases del entrenamiento atlético. 10 corredores de distancia de nivel nacional de sexo masculino de entre 18 y 22 años de edad de Andhra Pradesh fueron estudiados durante las fases de entrenamiento de transición (TP), Pre-competitiva (PP) y Competitiva (CP). Fueron medidas la talla, la masa corporal y los perímetros corporales. La composición corporal fue evaluada usando el grosor de los pliegues cutáneos de cuatro sitios. Los parámetros fisiológicos como VO<sub>2</sub> máx. (por medio de calorimetría indirecta) y el máximo rendimiento de trabajo (WR máx.) fueron estimados a partir de un test en cintaergómetro usando el protocolo de Bruce. La cuantificación del entrenamiento fue hecha mediante el Patrón de Asignación de Tiempo (TAP) y las relaciones de tasa de trabajo-frecuencia cardiaca. Los resultados indicaron un incremento significativo ( $p < 0.001$ ), en la masa corporal magra (LBM) la cual se incrementó en un 4.7 %, en el VO<sub>2</sub> máx. (18 %) y de 37 % en el máximo rendimiento de trabajo (WR máx.) desde la TP hasta CP. El cambio en el entrenamiento durante esta fase de transición fue de 1.6 veces para la intensidad y de 2 veces para la duración. Además, hubo altas correlaciones significativas entre la LBM y el VO<sub>2</sub> máx. Así, este estudio sugiere que la composición corporal es un componente importante en las adaptaciones inducidas por el entrenamiento, y que la misma puede influenciar los parámetros fisiológicos que resultan en una mejora del máximo rendimiento de trabajo.

**Palabras Clave:** LBM, tasa de trabajo, rendimiento, estado nutricional

## INTRODUCCION

Las dimensiones corporales óptimas son uno de los más importantes requisitos de la aptitud física y el rendimiento (1). La adaptación al entrenamiento es manifestada por cambios en la masa corporal, estructura y composición corporal, y por cambios en la capacidad aeróbica absoluta y relativa (2). Sería interesante observar las tendencias en los cambios en el rendimiento en diferentes eventos deportivos/atléticos, especialmente en aquellos donde la intensidad y el régimen del programa de entrenamiento y los resultados alcanzados fueron mejorados más profundamente. Los datos de composición corporal de atletas son muy escasos, y sería útil definir estos cambios más precisamente, debido a que su análisis podría contribuir en una manera significativa a la definición de las medidas y el tipo morfológico óptimo que conducen a los

cambios deseados para mejorar el rendimiento atlético.

La composición corporal refleja el estado nutricional de un individuo (3), y la LBM es uno de los muchos parámetros importantes que pueden influenciar el rendimiento en cualquier tarea física dada, especialmente en los eventos deportivos y atléticos. La variación de la intensidad y duración del entrenamiento trae aparejados cambios en la masa corporal, y en los parámetros metabólicos, fisiológicos y de composición corporal (4). De este modo, la realización periódica de evaluaciones de la composición corporal en relación a la cantidad de entrenamiento dado, proporciona una oportunidad para evaluar el estado y adaptabilidad al entrenamiento de un atleta. Esto ayudaría a los entrenadores a manipular el programa de entrenamiento para alcanzar niveles de masa y composición corporal y rendimiento pico, óptimos o deseados. De este modo, este estudio fue llevado a cabo para identificar las variaciones en el perfil de composición corporal (LBM & masa grasa) con una carga de entrenamiento incremental y sus relaciones con el  $VO_2$  máx. y el máximo rendimiento en el ejercicio.

## MÉTODOS

---

10 corredores de carrera de larga distancia de nivel nacional que representaban al estado de Andhra Pradesh en los eventos nacionales, de una edad de entre 18 y 22 años, fueron reclutados por las Autoridades Deportivas de Andhra Pradesh, Hyderabad, India. Los sujetos fueron informados acerca del propósito y alcance del protocolo del estudio y fue obtenido su consentimiento escrito en base a los lineamientos del comité de ética institucional. Los sujetos fueron llevados al laboratorio desde el hospedaje deportivo poco tiempo después de levantarse en la mañana y se les pidió que descansaran durante una hora en posición supina en un estado de vigilia. Los atletas fueron sometidos luego a las mediciones antropométricas tales como talla, masa corporal, perímetros de la mitad superior del brazo, cintura y cadera. La talla fue medida con una apreciación de 0.1 cm, usando un estadiómetro (SECA, Alemania). La masa corporal con la mínima vestimenta fue medida con una apreciación de 0.1 kg en una balanza tipo palanca (SECA, Alemania) en el estado de ayuno luego de vaciar la vejiga. Las mediciones de pliegues cutáneos fueron realizadas en los siguientes sitios: bíceps, tríceps, subescapular y suprailíaco, con calibres de pliegues cutáneos (Holtain, Reino Unido) con una apreciación de 0.2 mm. Los pliegues cutáneos fueron incorporados a las ecuaciones equiparadas por edad y sexo de Durnin & Womersley (5) para derivar la densidad corporal. El porcentaje de grasa corporal fue calculado usando la ecuación de Siri (6), a partir de la cual fue derivada la LBM.

El rendimiento de trabajo y el consumo máximo de oxígeno en el esfuerzo máximo fueron estimados a partir de la realización de una evaluación gradual en cinta ergométrica usando el protocolo de Bruce (7). Fueron usados métodos de calorimetría indirecta usando bolsas de Douglas para medir el consumo de  $O_2$  en diferentes etapas del protocolo de Bruce y el punto final del test fue considerado como el  $VO_2$  máx. (8). Las muestras de aire espirado en las bolsas de Douglas fueron analizadas para las siguientes variables: volumen (medidor de gas seco Singer, DTM325, Estados Unidos), oxígeno (analizador paramagnético Taylor Servomex, Reino Unido), y  $CO_2$  (analizador infrarrojo Beckman LB-2, Estados Unidos), luego de la respectiva calibración de cada equipo. Los valores fueron recolectados en STPD. Las frecuencias cardíacas fueron medidas usando un monitor de la frecuencia cardíaca (PE-3000, Instrumentos Polar, Finlandia). La cuantificación del entrenamiento en términos de intensidad y duración fue hecha usando el patrón de asignación de tiempo (TAP) (9), la monitorización de la frecuencia cardíaca (10) y también usando las relaciones frecuencia cardíaca-oxígeno y tasa de trabajo-frecuencia cardíaca (11, 13). El mismo protocolo fue usado durante la fase de transición (TP), precompetición (PP) y competición (CP) del entrenamiento.

### Análisis Estadísticos

Los datos fueron analizados usando un paquete estadístico estándar (SPSS versión 10.1). El análisis ANOVA y las comparaciones múltiples fueron llevadas a cabo para evaluar las diferencias que ocurren en los parámetros físicos y fisiológicos entre las fases de entrenamiento. Los valores fueron expresados como medias $\pm$ DS. La significancia fue aceptada a un nivel de  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

---

Las características físicas pertenecientes a la antropometría y el perfil de composición corporal son presentadas en la Tabla 1. La talla media se incrementó significativamente desde la TP hasta la CP. Un incremento considerable de aproximadamente 2.5 kg en la masa corporal fue observado en estos atletas desde la TP hasta la CP, de los cuales

aproximadamente 1.6 kg se incrementaron desde la TP hasta la PP y la ganancia restante de 0.9 kg fue observada desde la PP hasta la CP.

Fue aparente a partir de los resultados que un incremento en la LBM alteró la composición corporal de los atletas sin mucha variación en el contenido de grasa desde la TP hasta la CP. La LBM se incrementó en un 4.7 % (2.1 kg) desde la TP hasta la CP, de los cuales un 3 % fue observado entre las primeras dos fases del entrenamiento (desde la TP hasta la PP). Sin embargo, no fueron observados cambios significativos en el porcentaje de contenido de grasa desde la TP hasta la CP.

Los resultados del perfil fisiológico son presentados en la Tabla 2. El VO<sub>2</sub> máx. se incrementó significativamente en un 18.3 % con un incremento en la ventilación minuto de 17.6 % desde la TP hasta la CP. Fue también observado que hubo un incremento de 13 % en el máximo consumo de oxígeno cuando fue expresado en términos de, ya sea, unidad de masa corporal, o masa corporal magra. De otro modo, la tasa de trabajo fue también incrementada significativamente en un 37 % con un incremento en la eficiencia mecánica de un 4 % y el pulso de oxígeno de 19 % desde la TP hasta la CP.

Fase de Entrenamiento	Talla (cm)	Masa Corporal (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	LBM (kg)	Grasa (%)
TP	170.3 <sup>A</sup> ±6.37	50.3 <sup>A</sup> ±4.21	17.3 <sup>A</sup> ±0.49	45.4 <sup>A</sup> ±3.68	9.5 <sup>A</sup> ±1.98
PP	170.8 <sup>B</sup> ±6.34	51.9 <sup>B</sup> ±3.59	17.7 <sup>B</sup> ±0.41	46.8 <sup>B</sup> ±2.83	9.5 <sup>B</sup> ±2.69
CP	171.2 <sup>C</sup> ±6.58	52.8 <sup>C</sup> ±3.84	18.0 <sup>C</sup> ±0.47	47.5 <sup>C</sup> ±3.02	9.8 <sup>B</sup> ±1.90
Índice-F	20.20	15.95	7.85	13.34	0.73
Valor P	0.001	0.001	0.01	0.001	NS

**Tabla 1.** Antropometría y Composición Corporal de los atletas (n=10). Todos los valores son expresados como medias±DS; la variación de los superíndices indica significancia para las diferencias entre los valores de las medias de las fases. NS=no significativo.

Parámetros	TP	PP	CP	Índice-F	Valor P
VO <sub>2</sub> max. (ml/min)	2633.0 <sup>A</sup> ±377.23	2925.8 <sup>B</sup> ±282.8	3115.8 <sup>C</sup> ±446.3	12.36	0.001
MV <sub>T</sub> (l/min)	64.1 <sup>A</sup> ±5.71	68.4 <sup>A</sup> ±12.83	75.4 <sup>B</sup> ± 14.47	12.80	0.001
HR (lpm)	196 <sup>A</sup> ± 3.8	196 <sup>A</sup> ± 3.0	193 <sup>A</sup> ± 2.25	1.98	NS
Pulso de O <sub>2</sub> (ml/látido)	13.5 <sup>A</sup> ± 2.13	14.9 <sup>B</sup> ± 1.33	16.1 <sup>C</sup> ± 2.32	12.56	0.001
Tasa de Trabajo (kpm/min)	1571.2 <sup>A</sup> ±259.7	1935.0 <sup>B</sup> ±134.2	2147.4 <sup>C</sup> ±228.4	35.55	0.001
ME (%)	30 <sup>A</sup> ± 4.1	33 <sup>B</sup> ± 1.8	35 <sup>B</sup> ± 3.6	6.55	0.05
VO <sub>2</sub> -kg de peso corporal (ml/kg/min)	52.1 <sup>A</sup> ± 3.50	56.4 <sup>B</sup> ± 2.97	58.8 <sup>B</sup> ± 5.22	7.06	0.01
VO <sub>2</sub> -kg de LBM (ml/kg de masa magra/min)	57.8 <sup>A</sup> ± 4.04	62.5 <sup>B</sup> ± 4.29	65.3 <sup>B</sup> ± 5.69	7.51	0.01

**Tabla 2.** Perfil fisiológico de los atletas en diferentes fases del entrenamiento (n=10). Todos los calores están expresados como medias±DS; la variación en los superíndices indica significancia de las diferencias entre los valores medios de las fases, NS=no

Fase	Parámetro	Masa Corporal	VO <sub>2</sub> máx.	Tasa de Trabajo	Pulso de O <sub>2</sub>
TP	VO <sub>2</sub> máx.	0.975***	1.000	0.720*	0.995***
	Pulso de O <sub>2</sub>	0.959***	0.995***	-	1.000
	LBM	0.899**	-	0.899**	-
PP	VO <sub>2</sub> máx.	0.845**	1.000	845*	0.989***
	Pulso de O <sub>2</sub>	0.860**	0.989***	0.860**	1.000
CP	LBM	0.957***	0.958***	-	0.937***
	VO <sub>2</sub> máx.	0.875**	1.000	0.805*	0.993***
	Pulso de O <sub>2</sub>	0.845**	0.997***	0.821*	1.000
	LBM	0.965***	0.979***	-	0.974***

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación de los parámetros físicos y fisiológicos (n=10). \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001.

Fase de Entrenamiento	Duración (min)	Tasa de Trabajo (kpm/min)	Producción de Energía (kcal/min)
TP	99.0 <sup>A</sup> ± 6.48	672.3 <sup>A</sup> ± 145.86	6.743 <sup>A</sup> ± 1.11
PP	190.0 <sup>B</sup> ± 16.68	865.9 <sup>B</sup> ± 224.41	7.150 <sup>A</sup> ± 0.49
CP	204.0 <sup>C</sup> ± 13.43	1096.4 <sup>C</sup> ± 226.22	8.607 <sup>B</sup> ± 1.38
Índice-F	293.7	43.44	9.89
Valor-P	0.001	0.001	0.01

**Tabla 4.** Cuantificación del entrenamiento en diferentes fases (n=10). Todos los valores están expresados como medias±DS; la variación en los superíndices indica significancia en las diferencias entre los valores medios de las fases.

La LBM y el % de grasa corporal estuvieron estrechamente correlacionados con la talla, la masa corporal y el BMI. El VO<sub>2</sub> máx. estuvo estrechamente correlacionados con la talla, la masa corporal, LBM y la tasa de trabajo máxima en todas las fases de entrenamiento (Tabla 3). El pulso de oxígeno de estos atletas estuvo altamente correlacionado con la LBM y la tasa de trabajo máxima.

Las sesiones de entrenamiento de los atletas fueron cuantificados en términos de duración e intensidad (kpm/min) junto con el gasto energético. La intensidad del entrenamiento fue cuantificada en términos de tasa de trabajo absoluta. Estos resultados fueron presentados en la Tabla 4.

La duración total del entrenamiento media fue significativamente incrementada en 1.9 veces desde la TP hasta la PP, mientras que la misma se incrementó 2.1 veces desde la TP hasta la CP. Fue hallado que la intensidad de trabajo total media en un día de entrenamiento fue aproximadamente 672 kpm/min en TP y se incrementó significativamente en 1.29 veces en PP y 1.63 veces durante la CP.

## DISCUSION

---

La composición corporal y la masa corporal son dos de los muchos factores que contribuyen a un rendimiento atlético óptimo. Juntos, estos dos factores pueden afectar el potencial del atleta para el éxito en un deporte dado. La mayoría de los atletas requieren un alto índice fuerza/masa corporal para alcanzar un rendimiento atlético óptimo. Ya que la grasa corporal suma a la masa corporal sin sumar fuerza, frecuentemente es enfatizado por muchos investigadores (14-16) la búsqueda de un menor porcentaje de grasa corporal para lograr un mejor rendimiento.

Con el objeto de alcanzar un peso, composición corporal y rendimiento deseables los atletas pasan por diferentes fases de entrenamiento antes de la competición real, donde se produce la manipulación de la intensidad, duración y tipo de entrenamiento (17). Por lo tanto, la evaluación periódica de los cambios de la composición corporal y simultáneamente de los perfiles fisiológicos provee importantes lineamientos para desarrollar apropiadamente un programa de entrenamiento progresivo.

La implicación regular de los atletas en el entrenamiento físico ha conducido a alteraciones considerables en la composición corporal (18), y ha sido demostrado que la misma está relacionada de cerca con la capacidad aeróbica y la máxima tasa de trabajo de los atletas (19-25). En el presente estudio han sido hechas observaciones similares, ya que los atletas recibieron un aumento incremental de 2 veces en la duración y de 1.6 veces en la intensidad del entrenamiento desde la TP hasta la CP. Tales cambios coincidieron con un incremento de 2.5 kg en la masa corporal y de 4.7 % en la LBM, sin mucha variación en el contenido de grasa del cuerpo. Esto coincidió con una mejora en la capacidad aeróbica de un 18 % y en el rendimiento máximo de trabajo de 37 % desde la TP hasta la CP.

### Conclusiones

En base a las observaciones hechas en este estudio, es evidente que con el incremento en la intensidad del entrenamiento hubo una mejora considerable en los parámetros funcionales relacionados a los sistemas cardiovasculares y cardiopulmonares conduciendo a una mejora en la capacidad aeróbica. Es tentador especular que esto fue principalmente logrado como consecuencia de un incremento de la masa del tejido metabólicamente activo (incremento de la LBM) desde la TP hasta la CP. Sin embargo, nosotros no podemos proporcionar comentarios definitivos sobre las relaciones causa-efecto entre los cambios cardiopulmonares y de la composición corporal de los atletas. No obstante, es razonable sugerir que los atletas deberían ser periódicamente monitoreados con respecto a la variable composición corporal para ayudar a sus entrenadores al desarrollo de programas de entrenamiento apropiados para alcanzar la composición y masa corporal deseadas para obtener rendimientos deportivos óptimos. Además, la opinión de los autores es que la monitorización periódica de la composición corporal se vuelve mucho más crucial e importante en los deportes con categorías por peso tales como el boxeo, lucha, levantamiento olímpico, donde la masa corporal se vuelve el criterio de selección y el índice masa magra/masa grasa decide el resultado de rendimiento.

### Agradecimientos

Estamos agradecidos con los atletas que han participado en el estudio. Agradecemos enormemente la ayuda y la cooperación proporcionada por los entrenadores y administradores de las Autoridades Deportivas de Andhra Pradesh. También estamos agradecidos a nuestros colegas Mr. Ashok y Mr. Premraj por el apoyo técnico extendido a través del estudio.

### Dirección para Correspondencia

Venkata Ramana Y., Dept. of Physiology, Biophysics Division, National Institute of Nutrition, Indian Council Of Medical Research, Hyderabad - 500 007 (A.P.), India; Teléfono: 91-40-27008921 ext. 333; Fax: 91-40-27019074; Correo electrónico: vryagnam@yahoo.com

## REFERENCIAS

---

1. Astrand PO and Rodahl K (1986). Text Book of Work Physiology. *New York: McGraw Hill*
2. Barr SI, McCarger LJ and Crawford SM (1994). Practical use of Body composition Analysis in Sport. *Sports Med*; 17:277-28
3. Brozek J and Grande F (1955). Body composition and basal metabolism in man; correlation analysis versus physiological approach. *Human Biol*; 27:24-31

4. Brozek J (1956). Physique and nutritional status of adult men. Body measurement and human nutrition. (Ed): Wayne University Press. Detroit
5. Durnin JVGA and Womersley J (1974). Body fat assessed from the body density and its estimation from the skin fold thickness measurements on 481 men and women from 16-72 years. *Brit. J. Nutr*; 32:77-97
6. Siri WE (1956). The gross composition of the body. *Adv Biol Med Phys*; 4:239-280
7. Bruce RA (1971). Exercise testing of patients with CAD. Principles and normal standards for evaluation. *Ann Clin Res*; 3:323-332
8. Weir JB de (1949). ew methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*; 109:1-9
9. Satyanarayana K, Venkataramana Y, Someswara Rao M, Anuradha A and Narsing Rao BS (1985). Quantitative assessment of physical activity on energy expenditure on rural workingwomen. In: *Agarwal KN and Bhatia BD, editors. Update Growth. Varanasi, Banaras Hindu University, India, 197-205*
10. Christensen CG, Frey HM, Foenstelien E, Aadland E and Refsum HEA (1983). Critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O<sub>2</sub> consumption/heart rate curves and average daily heart rate. *Am J Clin Nutr*; 37:468-47
11. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd P, Goldberg GR, Reina JC and Christman NT (1988). Energy expenditure from minute-by-minute heart rate recording: Comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr*; 48:552-559
12. Bradfield RB (1977). A technique for determination of usual daily energy expenditure in the field. *Am J Clin Nutr*; 24:1148-1154
13. Venkataramana Y, Vindhya Ponnappa, Kapoor RN and Satyanarayana K (1997). Energy intake, Energy expenditure and Physical activity pattern of selected sports persons. *J Rehab Med Asia*; 1:36-45
14. Katch FI, Katch VL and McArdle VD (1981). Exercise physiology, Energy Nutrition and Human performance. Philadelphia, Lea and Febiger
15. Position paper of the American Dietetic Association and the Canadian Dietetic Association (1993). Nutrition for physical fitness and athletic performance for adults. *J Am Diet Assoc*; 93:691-696
16. Walberg JL (1986). Weight control and the athlete. In: *Frank I Katch editor. Sports, Health and Nutrition. The 1984 Olympic Science Congress Proceedings Human Kinetic Publisher Inc Illinois*; 2:11-22
17. Davis CTM and Knibbs AV (1971). The training stimulus: The effects of intensity, duration and frequency of effort on maximum aerobic power output. *Int Z Angew Physiol*; 29:299-306
18. Parizkova J (1978). Body composition and lipid metabolism in relation to nutrition and exercise. In: *Parizkova J and Rogozkin VA, editors. Nutrition, Physical fitness and Health. Baltimore, University Park press, 61-68*
19. Forbes GB (1978). Body composition in adolescence. In: *Falkner F and Tanner JM, editors. Human growth New York, Plenum*; 2:239-252
20. Houtkooper LB, Manore MM and Thompson JL (2000). Body composition in: Sport Nutrition for Health and Performance. Champaign, IL: Human Kinetics; 199-219
21. Parizkova J (1985). Adaptation of functional capacity and exercise. In: *Blaxter K and Waterlow JC, editors. Nutritional adaptation in men. London, John Libbey*; 127-138
22. Parizkova J (1979). Role of Body Dimensions and Body Composition in Physical Fitness and Performance During Growth and Adulthood. *Curr Anthro*; 3:49-54
23. Parizkova (1968). Body composition and physical fitness. *Curr Anthropol*; 9:273-82
24. Wilmore JH (1974). Alterations in strength, body composition and Anthropometric measurements consequence to a 10-week weight-training program. *Med Sci Sports*; 6:133-139
25. Venkataramana Y, Someswara Rao M, Sudhakar Rao S and Satyanarayana K (1995). Energy cost of graded workload and mechanical efficiency of sportsmen. *Ind J Med Res*; 101:120-124

### Cita Original

Venkata Ramana Y., Surya Kumari M.V.L., Sudhakar Rao S., Balakrishna N. Effect of Changes in Body Composition Profile on VO<sub>2</sub> max and Maximal Work Performance in Athletes. *JepOnline*; Vol. 7 (1), 2004.